الخامات الطبيعية بجنوب ليبيا واستخدامها كمواد للبناء

م. إبراهيم أحمد المختار الحضيري
ماجستير هندسة مدنية
تخصص خرسانة ومواد بناء
Almokhtar_72@yahoo.com

الملخص :

تزخر منطقة الجنوب بليبيا بالعديد من الثروات الطبيعية المختلفة ، لعل من أبرزها تلك الخامات الأولية التي تدخل في صناعة مواد البناء ومن أهمها الطين المكلس أو ما يعرف بالبوزولانا . حيث أشارت العديد من الدراسات إلى توفرها وبشكل كبير حول منطقتي سبها وبراك بوادي الشاطيء . ويمكن استخدام تلك المواد في مجال صناعة الإسمنت والخرسانة وذلك لغرض تحسين بعض الخواص للخرسانة المنتجة من جهة وتقليل تكلفة المتر المكعب من جهة أخري .

في هذه الورقة تمّ استعراض أهم الخصائص لتلك المواد وما تمّ حولها من دراسات لمعرفة مدى مطابقتها للمواصفات وإمكانية استخدامها كمواد مضافة للخرسانة . يرتكز البحث على خمسة مواقع استهدفتها تلك الدراسات ، هي : موقعان أحدها بشمال شرق مدينة سبها والآخر بتمنهنت ، وثلاثة مواقع حول مدينة براك هي آقار والعافية وتاروت . حيث اعتمدت في برنامجها العملي على أخذ عينات من هذه المواقع واستخدام كميات منها بنسب محددة وإضافتها لمكونات الخلطة الخرسانية بدل جزء من مادة الإسمنت الداخلة في مكوناتها .

وقد أظهرت أغلب نتائج تلك الدراسات وجود تحسن في خواص الخلطات الخرسانية التي استخدمت فيها تلك المواد مقارنة بخلطة مرجعية لم يتم استخدام تلك المواد بها .

الكلمات الدالة : الخرسانة ، البوزلانا ، الخلطة الخرسانية ، المواد البوزلانية ، الإسمنت

1. مقدمة :

يعتبر قطاع البناء والإنشاءات من القطاعات المهمة والحيوية التي لها الأثر الكبير في النهضة العمرانية التي تسعى إليها العديد من الدول . ولعل الخرسانة هي العمود الفقري لهذا القطاع ، إذ أنها من أكثر المواد الإنشائية استعمالاً ، وذلك لامتلاكها العديد من صفات القوة والصلابة التي تجعلها الأولى في عالم البناء .

ومن المعروف فإن المكوّن الأساسي لهذه المادة هو الإسمنت ، وهو تلك المادة الرابطة الناعمة التي تتصلب عند تفاعلها بالماء لتعمل على ربط مكونات الخرسانة ببعضها . وتعتبر صناعة الإسمنت من الصناعات الإستراتيجية التي تعتمد على مدى توفر المواد الخام وانخفاض تكلفتها . ومن التوجهات المتبعة لخفض التكلفة في هذه الصناعة هي إضافة مواد ذات كلفة إقتصادية أقل وذلك كمكوّن أساسي للإسمنت أو كبديل جزئي له عند إنتاج الخرسانة .

وتتمثل هذه المواد المضافة فيما يعرف بالمواد البوزلانية ، وهي بالإضافة لكونها تعمل على تقليل الكلفة الإقتصادية فإنها تعمل أيضاً على إكساب الخرسانة خصائص إضافية من حيث الجودة والمتانة لتحمل الظروف التي صُمّمت من أجلها وتعمل في محيطها طيلة عمرها الإفتراضي لمقاومة المتغيرات التي تحاول إحداث تلف أو تدهور في بُنيتها .

وقد أشارت دراسات سابقة أجريت من قبل " مركز البحوث الصناعية " إلى توفر هذه المواد وبشكل كبير حول منطقتي سبها وبراك بوادي الشاطيء والتي تعتبر ثروة معدنية يتطلب استغلالها ويمكن أن تساهم في دعم الاقتصاد الوطني وزيادة الدخل القومي بإدخالها في إحدى

أهمّ الصناعات الإستراتيجية وهي صناعة الإسمنت، وبالتالي الاستفادة منها هندسياً وبيئياً .

وقد أقيمت حول هذه المواد العديد من الدراسات كان الهدف منها هو :

- معرفة مدى ملاءمة استخدام المواد البوزلانية المحلية كبديل جزئي لمادة الإسمنت ومن ثمّ إدخالها في إنتاج وصناعة الخرسانة.

- دراسة تأثير هذه المواد على الخصائص المختلفة للخرسانة، ومن ثمّ على متانتها بشكل عام .

- مقارنة النتائج المتحصل عليها مع نتائج لدراسات سابقة تمّ تنفيذها باستخدام الأطيان البوزلانية في مناطق أخرى من العالم . وبالتالي معرفة مدى مطابقتها للمواصفات العالمية لهذه المواد .

حيث ارتكز البحث في أغلب تلك الدراسات على خمسة مواقع هي : (سبها وتمنهنت والعافية وآقار وتاروت) واعتمدت في برنامجها العملي على أخذ عينات من هذه المواقع واستخدام كميات منها بنسب محددة وإضافتها لمكونات الخلطة الخرسانية بدل جزء من مادة الإسمنت الداخلة في مكوناتها .

2. المواد البوزلانية :

المواد البوزلانية أو متأخرة التميؤ (الإماهة) هي خامات ألومينية أو سليكية أو خليط من كليهما ، وهذه المواد لا تملك قدرة لاصقة إسمنتية إلا أنها وبوجود الماء تتفاعل كيميائياً عند درجات الحرارة العادية مع هيدروكسيد الكالسيوم (الجير) الناتج من عملية التميؤ – تفاعل الإسمنت مع الماء – مكونة مركبات ذات خصائص إسمنتية غير قابلة للذوبان – مثل سيليكات وألومينات الكالسيوم – تعمل على سد الفجوات الداخلية والمسامات الشعرية بالخرسانة .

1.2 أنواع المواد البوزلانية :

تنقسم المواد البوزلانية إلى نوعين:

1.1.2 البوزلانا الصناعية:

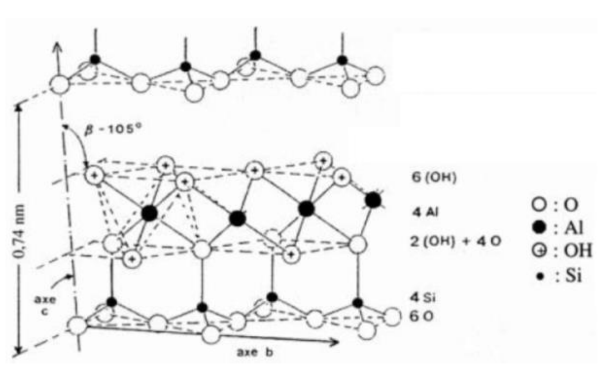
هي مواد ثانوية يُحصل عليها من المخلفات الصناعية ، وتشمل رماد الفحم ، والطوب المحروق ، وغبار السيليكا وخبث الحديد الناتج من مخلفات صناعة الحديد والصلب .

2.1.2 البوزلانا الطبيعية :

وهي مواد توجد في الطبيعة على هيئة رواسب بركانية أو مواد أوبالية أو ترسبات طينية ، ومنها الطين المحتوي على الكاولين موضوع هذا البحث .

والكاولين هو أحد المعادن الطينية ، تركيبه الكيميائي ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$). وبالإضافة إلى المواد الأساسية المشكلة للكاولين فهناك نسب معينة من الشوائب ، وهي في العموم عبارة عن أكاسيد مثل MnO و Fe2O3 و CaO و Na2O و K2O كما توجد بها مواد عضوية والتي تزول بتسخين الكاولين إلى درجات حرارة معينة ، وهذه الشوائب يمكن أن تكون موزعة بانتظام على المادة الأصلية الخام ، كما يمكن لها أن تكون على شكل تجمعات بالشقوق الصخرية[1].

إن التحليل بواسطة الأشعة السينية للكاولين النقية يدل على وجود ترتيب ذري لمدى طويل وبنية بلورية محدودة للكاولين كما هو موضح بالشكل رقم (1) ، ومنه يمكننا أن نلاحظ بأن التوزيع غير متجانس في الأبعاد الثلاثة . والكاولين عبارة عن طبقات من شبكة بلورية حيث تتماسك طبقاتها مع بعضها البعض بقوى تجاذب كبيرة ، والأشكال الناتجة للبلورات هي في غالبها صفائح سداسية مجهرية تعكس البنية الذرية للمادة.



شكل (1) : التركيب البلوري للكاولين

والكاولين مركب غير نشط كيميائياً ، ومن أهم خصائصه تفككه بارتفاع درجات الحرارة[2] ، حيث أن معادن الكاولين تتبلور بخروج ماء الرطوبة أو الماء الممتص بعد تفاعل أولي ماص للحرارة بين درجة الحرارة 100° C و 110° C ، وتؤدي هذه العملية باقتراب الحبيبات من بعضها البعض ، لكن يحدث هذا بدون تغير في الشبكة البلورية ، وإبتداء من 500° C تقريبا ينتج ثاني تفاعل ماص للحرارة، والذي ينتج عن تحول الكاولين إلى طور آخر يدعى الميتاكاولين ($Al_2O_32SiO_2$) حيث يتم التخلص من جزيئى الماء (H_2O)الداخل في التكوين ، وهو بدوره يتفكك إلى الومينيا (AL_2O_3) و سيليكا (SiO_2) . وهذا التحول يوصف كيميائياً بمعادلة التفاعل التالية :

$$2Al2Si2O5(OH\ 4) \xrightarrow{T\geq 500} 2Al_2\ Si_2O_5 + 4H_2O$$

3.1.2 تفاعل البوزلانا مع الجير (التميؤ) :

تتفاعل السليكا المتواجدة بالبوزلانا مع هيدروكسيد الكالسيوم الناتج من عملية التميؤ – تفاعل الإسمنت مع الماء – مكونة هيدرات سيليكات الكالسيوم ، حيث يكون التفاعل الرئيسي على الصورة :

$$CH + S + H \rightarrow C\text{-}S\text{-}H$$

وتتفاعل السليكا الغير المتبلورة (كاولين) بشكل أسرع من السليكا ذات الشكل البلوري (كوارتز) مع هيدروكسيد الكالسيوم .

وعند احتواء البوزلانا على على مقادير من الألومينا النشطة ، تتشكل هيدرات ألومينات الكالسيوم كما بالصيغة التالية :

$$CH + A + H \rightarrow C\text{-}A\text{-}H$$

ومع أنواع البوزلانا عالية التفاعلية ، يظهر التفاعل البوزلاني الثانوي منتجاً ثلاثي سليكات الكالسيوم الذي يكون بالصيغة :

$$C_3S + 2S + 10.5H \rightarrow 3[CSH_{3.5}]$$

وتظهر هذه التفاعلات بشكل واضح مع أغلب أنواع البوزلانا الطبيعية أو الصناعية في فترة ما بين 3 إلى 14 يوماً بعد خلطها بالماء [3] .

3. البوزلانا المحلية (الكاولين) :

1.3 الموقع الجغرافي:

أكدت دراسات عديدة قام بها مركز البحوث الصناعية " طرابلس – ليبيا " على تواجد كميات من أنواع مختلفة من الخامات والمواد الطينية مثل الجبس والحديد والبازلت وغيرها ، وذلك في مناطق واسعة من ليبيـا ، من أهمّـها : غريان ، الخمس ، بنغازي ، درنة ، زليتن ، سبها ، وادي الشاطيء [2,16].

وتوضح الخريطة في الشكل رقم (2) المناطق الجنوبية وبالتحديد منطقة سبها وما حولها ومناطق وادي الشاطيء التي تتواجد بها المواد البوزلانية الطبيعية المستهدفة بالدراسة على هيئة صخور طينية حاوية على معدن الكاولين .



شكل (2) : مناطق تواجد الكاولين المستهدفة بالدراسة

2.3 المواقع المستهدفة:

الجدول رقم (1) يوضح وصفاً للمواقع المستهدفة بالدراسة والعينات المأخوذة منها .

جدول (1) : مواقع العينات وأوصافها

ر.م	المنطقة	عمق الحفر(م)	وصف الموقع	لون وشكل العينة
1	سبها	4	10كم من مدينة سبها على بعد 100م يمين الطريق	كتل بيضاء غير منتظمة الشكل سهلة التفتت
2	تمنهنت	0.5	10كم من تمنهنت في اتجاه الشمال من الطريق المعبد	كتل صلبة بيضاء تميل قليلاً للإحمرار
3	العافية	0.5	على يسار الطريق المعبد ، بجانب الخزان	كتل رمادية تتخللها بقع صفراء متوسطة الصلابة
4	أقار	1.0	بجوار الطريق المعبد مقابل محطة الكهرباء	طبقات رمادية مزرقّة صفائحية الشكل وصلبة
5	تاروت	0.5	أمام مفرق تاروث القديمة والجديدة على بعد 10م	كتل رمادية حبيبية المظهر ومتوسطة الصلابة

كما توضح صور الأقمار الصناعية من رقم (3) إلى رقم (7) المواقع المستهدفة ، والصور من رقم (8) إلى رقم (12) المحاجر التي أخذت منها العينات المدروسة ، والصور من رقم (13) إلى رقم (17) أشكال الصخور المقتلعة منها .



شكل (3) : صورة قمر صناعي لموقع سبها



شكل (4) : صورة قمر صناعي لموقع تمنهنت



شكل (5) : صورة قمر صناعي لموقع العافية



شكل (6) : صورة قمر صناعي لموقع آقــار



شكل (7) : صورة قمر صناعي لموقع تاروت



شكل (8) : أخذ عينات البوزلانا من موقع سبها



شكل (9) : أخذ عينات البوزلانا من موقع تمنهنت



شكل (10) : موقع العافية



شكل (11) : موقع آقـار



شكل (12) : موقع تاروت



شكل (13) : صخور موقع سبها



شكل (14) : صخور موقع تمنهنت



شكل (15) : صخور موقع العافية



شكل (16) : صخور موقع آقـار



شكل (17) : صخور موقع تاروت

4. البرنامج العملي لتجهيز العينات:

اعتمد البرنامج العملي للدراسات – موضوع البحث - على أخذ كميات من هذه الصخور المقتلعة ثم تكسيرها



إلى قطع صغيرة في حدود 0.25 إلى 0.5 بوصة لضمان توزيع الحرارة بشكل منتظم - أنظر الشكل رقم (18) - يتم بعدها حرق قطع الكاولين المكسرة بوضعها في فرن كهربائي - الشكل رقم (19) - حتى درجة الحرارة المطلوبة وهي 800 درجة مئوية لمدة ساعتين ، وهذه الفترة كافية لتحويل الكاولين إلى ميتاكاولينا نشطة [2,1].

شكل (18) : تكسير العينات



شكل (19) : عملية حرق الطين

في وقت لاحق بعد عملية الحرق ؛ يتم طحن الطين ميكانيكياً حتى درجة نعومة كافية تصل إلى 150 ميكرومتر للحصول على كمية كافية من كل عينة من خلال هزها آلياً بالمنخل كما في الشكل رقم (20) .

الصور من رقم (21) إلى رقم (25) توضح عينات جاهزة للدراسة وإجراء الاختبارات بعد طحنها وغربلتها.



شكل (20) : نخل العينات



شكل (21) : عينة تمنهنت

5. أهم الدراسات حول استخدام البوزلانا المحلية ونتائجها :

عادة ما تتم إضافة المواد البوزلانية في ثلاث صور هي :

1 – كبديل عن جزء من الأسمنت البورتلاندي (وهي الحالة الأكثر شيوعا لأسباب إقتصادية) .

2 – كبديل عن جزء من الرمل (إما لعدم وجود الرمل الجيد أو لأن التدرج الحبيبي للرمل غير مطابق للمواصفات) .

3 – كإضافة للأسمنت بدلا عن أستبداله ، وذلك لزيادة المحتوى الأسمنتي في الخرسانة .

ويتم الخلط غالباً أعتمادا على النسب الوزنية ، ونادرا بنسب حجمية . وقد تناولت الدراسات – موضوع هذا البحث - إمكانية استخدام البوزلانا المحلية على صورة ميتاكاولينا كبديل لجزء من الإسمنت في الخلطات الخرسانية بنسب استبدال تراوحت من 10 % إلى 20 % من وزن الإسمنت ، وفيما يلي استعراض لنتائج تلك الدراسات التي شملت عدة خصائص للخرسانة .

1.5 التركيب الكيميائي :

أظهرت عدة دراسات[14,2,1] أن عينات الطين المستخرجة من المناطق الجنوبية بليبيا تتوافق مع مواصفة الجمعية الأمريكية لإختبار المواد ASTM C[13] 618-03 وذلك عن طريق التحليل الكيميائي بواسطة الأشعة السينية الوميضية (XRF) .

كما أن محتوى الكاولين الموجود بمعظم العينات قد زاد عن نسبة 50 % [2,1].

يوضح الجدول رقم (2) نسبة السليكا ذات الشكل البلوري (الكوارتز) إلى الكاولين للعينات المستخرجة. كما أن الجدول رقم (3) يبيّن التحليل الكيميائي للعينات ومقارنتها للمواصفات القياسية ASTM C 618.



شكل (22) : عينة سبها



شكل (23) : عينة آقـــار



شكل (24) : عينة العافية



شكل (25) : عينة تاروت

جدول (2) : التركيب المعدني للبوزلانا المحلية

الموقع	الكاولينا	الكوارتز
سبها	% 95	% 5
تمنهنت	% 50	% 50
العافية	% 54	% 46
آقار	% 90	% 10
تاروت	% 30	% 70

جدول (3) : التحليل الكيميائي للبوزلانا المحلية

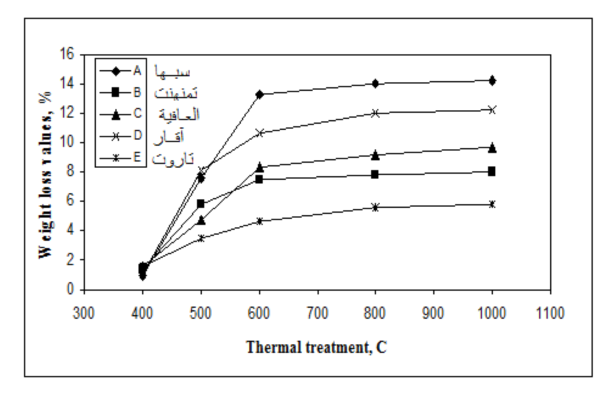
المتطلب	القيمة الفعلية					المواصفة ASTM C618–03
	سبها	تمنهت	العافية	آقار	تاروت	
أكاسيد (السيلكون ، الألومنيوم ،الحديد)	95.2	96.7	92.4	95.1	93.1	% 70 <
ثالث أكسيد الكبريت	3.033	0.016	0.28	---	0.319	% 4 >
المحتوى المائي	---	---	---	---	---	% 3 >
القلويات (أكسيد الصوديوم)	0.22	0.35	0.35	0.22	0.93	1.5 > %
ثاني أكسيد السيلكون	53.42	70.33	57.95	58.46	71.88	---
ثالث أكسيد الألومنيوم	40.84	25.32	24.52	34.36	20.2	---
ثالث أكسيد الحديد	0.975	1.05	9.973	2.266	1084	---
أكسيد الماغنسيوم	0.13	0.14	0.724	0.28	0.35	---
أكسيد الكالسيوم	0.1	0.0801	0.133	0.162	0.163	---
أكسيد البوتاسيوم	0.16	0.366	2.919	1.44	1.06	---
ثاني أكسيد التيتانيوم	3.019	1.51	1.12	1.37	0.966	---
خامس أكسيد الفوسفور	0.137	---	0.241	0.11	0.36	---
أكسيد المنجنيز	0.0088	---	0.034	---	0.028	---
ثالث أكسي الكروم	---	0.011	---	---	---	---
أكسيد السترانشيوم	0.034	0.0063	0.0167	0.0209	0.036	---
الفقدان بالحرق L . O . I	0.88	0.76	1.68	1.25	1.06	% 6 >

وفي دراسة أخرى[7] على عينة مأخوذة من موقع العافية بيّنت أن التركيب الكيميائي قبل وبعد المعالجة بتقنية الموجات فوق الصوتية " Sono Chemical " يتوافق مع المواصفة ASTM C 618-03 .

وفي دراسة أخرى أيضاً[8] على موقع تاروت تمّ معالجة الطين حرارياً عند درجة حرارة 800 درجة مئوية لمدة ساعتين تبيّن أن التركيب الكيميائي قبل وبعد المعالجة يفي بمتطلبات المواصفة ASTM C 618-03 كذلك ، وأن السليكا وأكسيد الألومنيوم ومجموع أكاسيد الحديد كانت أكبر من 70 % من محتوى العينة .

2.5 الخصائص الحرارية :

يبين الشكل رقم (26) قيم فقدان الوزن للعينات بعد حرقها في درجات الحرارة المختلفة وفقاً لإحدى الدراسات[2] .



شكل (26) : قيم فقدان الوزن للعينات

3.5 الفعالية البوزلانية :

تزداد الفعالية البوزلانية أو ما يعرف بـ (مؤشر قوة نشاط البوزلان) كلما احتوت على سيليكا غير متبلورة ، وتقاس الفعالية (Strength Activity Index) من خلال العلاقة الواردة في المواصفة ASTM C311 على النحو التالي :

$$\text{الفعالية البوزلانية } (\textbf{SAI}) = \frac{A}{B} \times 100$$

حيث أن :

A : هو متوسط مقاومة الضغط لمكعبات الخلطة المحتوية 20% من البوزلانا مقدرة بـ (MPa) .

B : هو متوسط مقاومة الضغط لمكعبات الخلطة المكونة من الإسمنت فقط مقدرة أيضاً بـ (MPa) .

ويمكن تنشيط البوزلان بعدة طرق[17] ، منها :

- التنشيط بواسطة الحرق .

- التنشيط بواسطة زيادة النعومة .
- التنشيط بواسطة إضافة مواد كيميائية .

وفقاً لأغلب الدراسات ، فإن الفعالية البوزلانية للكاولين المحلي المدروس تزيد عن طريق المعالجة الحرارية في درجة حرارة 800 درجة مئوية لمدة ساعتين ، وفي إحدى الدراسات[9] كانت القيم بعد 7 و 28 يوم > 80 % وهي موافقة لمتطلبات المواصفة ASTM C 618-03 . أنظر الجدول رقم (4) والشكل رقم (26) .

كما أوضحت دراسة أخرى[7] لموقع العافية إمكانية تنشيط العينة كيميائياً باستخدام تقنية الموجات فوق الصوتية ، إلا أن هذه التقنية مكلفة على المستوى الصناعي مقارنة بالمعالجة الحرارية ولا يمكن القيام بها في الوقت الراهن إلا في المختبر لدواعي اقتصادية .

جدول (4): مؤشر قوة نشاط البوزلانا المحلية

الموقع :	سبـــها A	تمنهنت B	العافية C	آقار D	تاروت E
بعد 7 أيام	99.8 %	95.6 %	93.3 %	80 %	101 %
بعد 28 يوم	109.1 %	104 %	99 %	80 %	102 %

4.5 الخصائص الفيزيائية :

1.4.5 القوام القياسي :

أكدت دراسة سابقة[2] أن زيادة نسب إحلال الميتاكاولينا محل الإسمنت البورتلاندي العادي أدت إلى زيادة مقدار نسبة الماء اللازم لتحضير الخلطة الخرسانية ، حيث أن أقصى قيمة للقوام القياسي كانت لعينة موقع العافية ذات نسبة إحلال 10 % وبلغت 40 % مقارنة بالخلطة المرجعية . وهذا يعني أن زيادة نسب إحلال البوزلانا الطبيعية بدل الإسمنت البورتلاندي يؤدي إلى زيادة المحتوى المائي اللازم لتحضير الخلطة ذات نفس القوام القياسي .

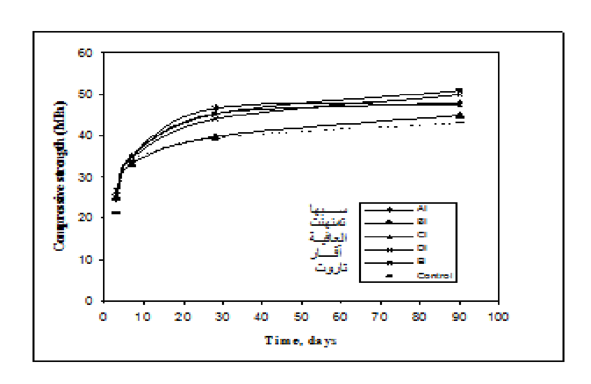
2.4.5 زمن الشك الإبتدائي والنهائي :

نتائج لدراسة سابقة[2] أظهرت أن أكبر قيمة لزمن الشك الإبتدائي كانت لعينة تمنهنت ذات نسبة إحلال 20 % بعد 360 دقيقة من بداية الخلط ، وأقل قيمة لزمن الشك الإبتدائي كان لعينة نفس الموقع ولكن بنسبة إحلال 15 % حيث بلغت 208 دقيقة ، وهو أقل من قيمة زمن الشك الإبتدائي للخلطة المرجعية .

أما بالنسبة لزمن الشك النهائي فكانت أكبر قيمة أيضاً لموقع تمنهنت بنسبة 20 % بعد 425 دقيقة ، وأقل قيمة لعينتي موقعي تمنهنت بنسبة 15 % وآقار بنسبة 20 % بعد 290 دقيقة من زمن الخلط ، وهي أيضاً أقل من الخلطة المرجعية .

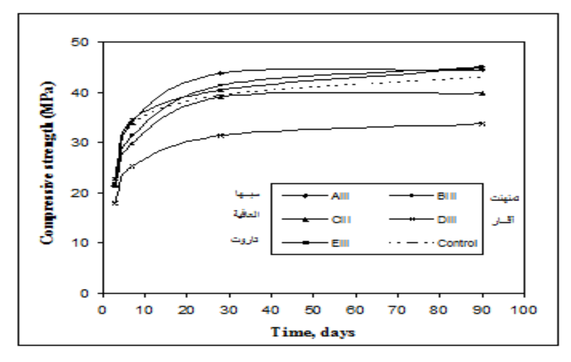
3.4.5 الخصائص الميكانيكية (مقاومتي الضغط والشد) :

الدراسات السابقة[3,2] بشكل عام أكدت أن استخدام الميتاكاولينا المحلية يعزز بشكل فعال القوة الميكانيكية لعينات المونة الإسمنتية مثل الشد وقوة الضغط . الشكل رقم (27) والشكل رقم (28) والشكل رقم (29) يوضح العلاقة بين قوة الضغط والعمر للمواقع المختلفة[2] ، والشكل رقم (30) يوضح مقدار قوة الشد لها[2].

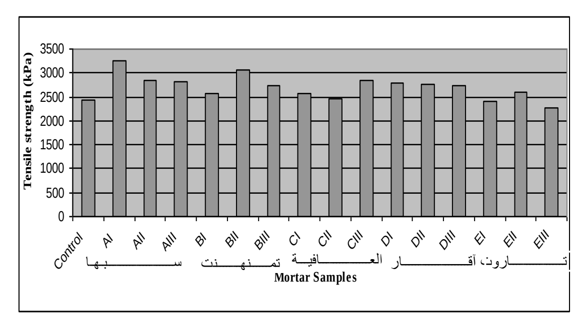


شكل (27) : مقاومة الضغط للعينات بنسب إحلال 10%

شكل (28) : مقاومة الضغط للعينات بنسب إحلال 15%



شكل (29) : مقاومة الضغط للعينات بنسب إحلال 20%



شكل (30) : مقاومة الشد للعينات بعد 28 يوم

وقد بيّنت إحدى الدراسات[7] أن الكاولين المأخوذ من موقع العافية والمستبدل بـ 10 % من وزن الإسمنت البورتلاند العادي في العينة قد حققت أعلى قوة ضغط وصلت إلى (32.5 Mpa) بعد عمر 28 يوم .

وفي دراسة أخرى لموقع تاروت[9] تمّ فيها استخدام نسب 10 % و 15 % و 20 % من الميتاكاولينا بدل الإسمنت فقد أعطت نسبة استبدال 10 % أكبر قيمة لمقاومة الضغط بعد عمر 3 و 7 و 28 يوم بزيادة بلغت 11 % عند 28 يوم عن قيمة المقاومة للخلطة المرجعية.

4.4.5 مقاومة الكبريتات والكلوريدات :

تنبع أهمية التفاعل البوزلاني من تأثيره على التركيب الداخلي للخرسانة كما يلي :

- **إعادة توزيع الفراغات:**

حيث يتم تحويل الفراغات الكبيرة الموجودة في بيئة الخرسانةإلى فراغات صغيرة (أكثر عددا وأصغر حجما) كنتيجة مباشرة لترسيب مادة C-S-H المتكونة من التفاعل البوزولوني في هذه الفراغات .

- **تغيير في حجم المكونات:**

وخاصة الجير المطفأ المتكون حديثا من تفاعل الأسمنت مع الماء ، حيث تتحول بلورات الجير الصلدة والكبيرة إلى مادة C-S-H الخيطية الشكل وغير المتبلورة وذات المساحة السطحية الكبيرة ، والتي تشغل حيزا كبيرا من الفراغات . حيث تزداد مادة C-S-H الأسمنتية في الخرسانة مع تقليل نسبة الجير .

وتساعد هاتان الآليتان في ديمومة الخرسانة ، حيث تقل الفراغات الكبيرة التي تساعد على دخول المواد الضارة (مثل الماء ، ثاني أكسيد الكربون ، الكلوريدات ، إلخ) . كما أن صغر حجم الجير المطفأ (يسبب التفاعل البوزلاني) يساعد على تقوية المنطقة الإنتقالية (Transition Zone) بين العجينة الأسمنتية والحصى في الخرسانة ، حيث تعتبر هذه المنطقة أضعف منطقة في الخرسانة . كما أن إستهلاك الجير في التفاعل البوزلاني يقلل من التفاعلات الكيميائية الضارة الناتجة عن دخول بعض الأيونات (مثل الكبريتات) إلى الخرسانة[9] .

وقد أظهرت دراسة سابقة[3] أستخدمت فيها البوزلانا المحلية بشكل جزئي مع الإسمنت بنسب 10% و 15% و 20% تأثير إيجابي على مقاومة نفاذية الكلوريدات للخرسانة ، وأن استبدال 15% من البوزلانا بدل الإسمنت يؤدي إلى تأخير كبير في زمن التآكل لصلب التسليح وخفض معدله .

5.4.5 التأثير على خصائص الإنكماش :

الإنكماش هو ظاهرة فيزوكيميائية تُحدث تغير حجمي للخرسانة يؤدي إلى تقلصها نتيجة فقدانها للماء المستخدم في الخلطة . ويمكن تمييز مرحلتين من عمر الخرسانة يحدث خلالهما الإنكماش هما :

- **مرحلة الخرسانة اللدنة (الطازجة) :**

يحدث في وقت مبكر من عمر الخرسانة أي خلال 24 ساعة الأولى من لحظة إضافة الماء لمكونات الخرسانة الجافة.

- **مرحلة الخرسانة المتصلدة (الصلبة) :**

يحدث عندما تبدأ الخرسانة في التصلب وتتعرض للجفاف ، ويستمر على مدى أطول خلال عمر الخرسانة.

وبشكل عام فإن المواد البوزلانية تعمل على تقليل الفجوات الداخلية والمسام الشعرية بفعل تكوين مركبات غير قابلة للذوبان مثل سليكات وألومينات الكالسيوم ، وهذا بدوره يساهم في تقليل الإنكماش .

ففي دراسة[1] قام بها الباحث على عينات من المواقع المستهدفة ؛ تم الحصول على النتائج الآتية :

- الإنخفاض في معدل تبخر مياه الخلط كان تقريباً في جميع العينات وقد وصل إلى نسبة حوالي 60.81 % مقارنة بمعدل الخلطة المرجعية وذلك في عينة موقع العافية بنسبة إحلال 15% .
- تأخر زمن ظهور تشققات الإنكماش اللدن في أغلب العينات وقد بلغ حوالي النصف ساعة مقارنة بالخلطة المرجعية في بعضها .
- وصلت نسبة التقلص للتشققات (CRR) إلى 56.34% لعينة موقع آقار والتي كانت نسبة إحلال الميتاكاولينا بها 10% من وزن كمية الإسمنت المستخدم في الخلطة المرجعية وهي أكبر قيمة تم الحصول عليها من بين قيم التقلص المحسوبة ، وذلك بالنسبة لمتوسط عرض الشق . أما بالنسبة للطول الكلي للشق فقد وصلت أكبر قيمة تقلص إلى 24.242 % وذلك لعينة موقع تاروت بنسبة إحلال 15% .
- قلّ معدل انكماش الجفاف في معظم العينات خلال أغلب فترات القياس ابتداءً من عمر 4 أيام وحتى عمر 177 يوماً من زمن الجفاف .

وفي دراسة أخرى - قام بها الباحث[10] أيضاً لحساب الإنكماش المتوقع للعينات المحتوية على نسب مختلفة للميتاكاولينا المحلية عن طريق المعادلة التجريبية GL2000 الواردة في مواصفة المعهد الإمريكي للخرسانة 209.2R-08 إعتماداً على نتائج مقاومة الضغط - تبيّن أن قيم الإنكماش تقل بإضافة البوزلانا المستخدمة أو تقارب إلى حدّ كبير تلك القيم المحسوبة لإنكماش الخلطة المرجعية عند أغلب النسب المستخدمة للمواقع المختلفة .

6. الخلاصة والإستنتاجات :

بشكل عام ؛ يتبيّن أن الدراسات التي تم تناولها في هذه الورقة - وهي دراسات أولية أُجريت فيها بعض الاختبارات اللازمة لمعرفة تأثير الاستبدال الجزئي للإسمنت بعينة من المواد البوزلانية المحلية المتمثلة في الطين المكلس (الكاولينا) على عدة خواص للمونة الإسمنتية والخرسانة - قد أعطت في مجملها نتائج جيدة وأظهرت وجود تأثير إيجابي أضاف تحسيناً على أغلب خصائص الخلطات المدروسة ، وبالتالي يمكن استخلاص النتائج التالية :

- إمكانية استخدام هذه الأطيان كمواد بوزلانية طبيعية بعد معالجتها حرارياً وطحنها إلى درجة نعومة كافية ، ومن ثمّ إدخالها في إنتاج الخرسانة لتحقيق بعض الأهداف المرجوّة كخفض التكلفة وزيادة المتانة .
- قد يكون لزيادة النعومة في المادة البوزلانية تأثيراً أكثر إيجابية على خصائص الخرسانة المنتجة وجودتها .
- التقليل من كمية الإسمنت في الخرسانة نتيجة عملية الاستبدال بجزء من المادة البوزلانية والذي يؤدي

بدوره إلى التقليل من كمية الحرارة الناتجة عن عملية التميؤ ؛ هو توجه مطلوب من أجل خرسانة خضراء صديقة للبيئة وهي ميزة نحتاجها بشكل أكبر في المنشآت كبيرة الحجم ذات الخرسانة الكتلية (كالسدود) والتي قد تتسبب الحرارة في حدوث تصدعات بها ، بالإضافة إلى حاجتنا إليها في الأجواء الصحراوية والحارة والتي تغطي رقعة كبيرة من البلاد خاصة الجنوبية منها .

7. التوصيات :

- الاستمرار في عمل الدراسات حول الأطيان المحتوية على الكاولينا الموجودة بالمنطقة لاستخدامها كمواد بوزلانية مضافة للخرسانة وذلك مع نسب إحلال ودرجة نعومة أكبر ، بالإضافة إلى أنواع أخرى من الإسمنت والخرسانة ومعرفة تأثيراتها الناتجة على المدى البعيد .
- القيام بالمزيد من البحوث والدراسات حول خصائص لم تشملها تلك الدراسات مثل المرونة والزحف والنفاذية وغيرها.
- توسيع مجال الدراسات وإجراء التجارب بحيث تشمل مواقع أخرى متوفرة في نفس المنطقة ، ومحاولة إضافة عدة أنواع من الكاولينا المدروسة وخلطها ببعض وبنسب مختلفة للحصول على مركبات قد تكون أفضل من استخدام العينات منفردة .
- إدراج هذه الثروات الطبيعية كأحد مصادر الدخل القومي للبلاد ؛ وهذا يتطلب إجراء دراسة شاملة وتفصيلية لكافة المناطق الأخرى التي تتواجد بها هذه المواد وتقدير الاحتياطيات لها .

المراجع :

1- Ibrahim A. Mokhtar " **Shrinkage properties of concrete using local pozzolanic materials**", Thesis Submitted for Partial Fulfillment for the Requirements of M.Sc. Degree Sebha university-Libya, 2017.

2- Hamza M. A. " Use of Local Pozzolanic Materials for Concrete Production", Thesis Submitted for Partial Fulfillment for the Requirements of M.Sc. Degree Sebha university-Libya, May, 2008.

3- Abdelkader.M.Alajwad " Durability of pozzolanic concrete: Corrosion reactivity of south Libya clay", Thesis Submitted for Partial Fulfillment for the Requirements of M.Sc. Degree Sebha university-Libya, May 2013.

4- Michael Zeljkovic " METAKAOLIN EFFECTS ON CONCRETE DURABILTY " University of Toronto , 2009 .

5- Ahmed M. Al-Saleem "Effect of Local Natural Pozzolanic Material on the Properties of Concrete" King Saud University, February 2006 .

6- Mohamed .A.Aboubakar, A.M. Akash ,et " A Study of the Strength Activity Index of Libyan Kaolin Treated by a Thermal Method " April 2013 .

7- Mohamed -A-Aboubakar, A.M. Akash ,et " A Study on the Effect the addition of thermally treated Libyan Natural Pozzolan has on the Mechanical Properties of Ordinary Portland Cement Mortar " January 2013 .

8- Eshmaiel Ganjian ,et " Properties of sonochemically treated Libyan kaolin pozzolan clay " Coventry University.

9- Mohamed A Aboubakar, A.M. Akash ,et " Influence of Treatment Tarot Kaolin by Thermal Method on Hard and Fresh Properties of Cement Mortar" April 2013 .

10- إبراهيم الحضيري ، أ.د.عبدالسلام عكاشة " الإنكماش في الخرسانة البوزلانية " المؤتمر الوطني السادس لمواد البناء ، 2014 .

11- وسام أبوالقاسم " خصائص الإسمنت المخلوط بمخلفات الآجر المحلي المطحون " الأكاديمية الليبية – طرابلس ، سبتمبر 2012 .

12- المواصفة القياسية الليبية رقم 470 " الإسمنت البناء البورتلاندي " 2002 .

13- American Society for Testing and Materials "ASTM C618-03 : Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete" 2003 .

14- American Society for Testing and Materials "ASTM C157-03 : Standard Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic-Cement Mortar and Concrete" 2003 .

15- K. al-nnas, "Study on the physico-chemical properties of local clay and its applications", M.Sc thesis, Faculty of Science, Sebha university, Libya, (2007).

16- Libyan mining company, "Kaolin clay deposits in Libya", Website: www.libyanminingco.com., (2004) .

17- Industrial Research Center, "Raw materials in Sebha and Wadi Shatti regions", Industrial Research Journal, Tripoli, Libya, 7, 126-138, (1998) .

18 - Akasha and H. Abdussalam, "Using of south local Libya pozzolana as blended cement", proceedings, 3rd International Conference of Building Materials and Structural Engineering, 7 October University, Musurata, Libya, (2006).

19 - Akasha, M. Shoib and H. Abdu-Alsalam, "Utilization of some deposited clay in south Libya as a pozzolanic material", 7th International congress, 4-6 September, (2007), Dundee, Scotland, UK.

20 - Akasha, and H. Abdussalam, "Using of south Libya pozzolana as replacement cement", proceedings of 8th International Conference on Concrete Technology in Developing Countries, Hammamat, Tunis, November 8-9, (2007) .